

Robot zahradníkem



Mgr. Marek Rác Ph.D.
Katedra biofyziky, UP



Dobrý den,

Na dnešní přednášce si budeme vykládat o tom, co vidí biofyzik, když se řekne Robot zahradníkem. A začneme tím, že si řekneme, kdo je to biofyzik. To je člověk zvědavý, kterého baví fyzika, ale nechce ji tak úplně dělat, místo toho se raději kouká pod ruce kolegům biologům na ty jejich malůvky a má tendence psát jim tam různé vzorečky. Zároveň je to člověk se širokým záběrem, kterému dělá problém dlouhodobě se soustředit na jednu věc. Takže abych se vrátil k tématu prezentace...

NEOLITICKÁ REVOLUCE



Vše začalo v době neolické revoluce, nějakých 10 000 let zpátky. To je mezník naší historie, kdy lidstvo přešlo od společnosti lovců a sběračů ke společnosti zemědělců. A protože člověk je od přírody tvor pohodlný, je to taky období, kdy začala modernizace zemědělství s cílem ulehčit si práci a zvýšit výnos.

NEUSTÁLÝ VÝVOJ

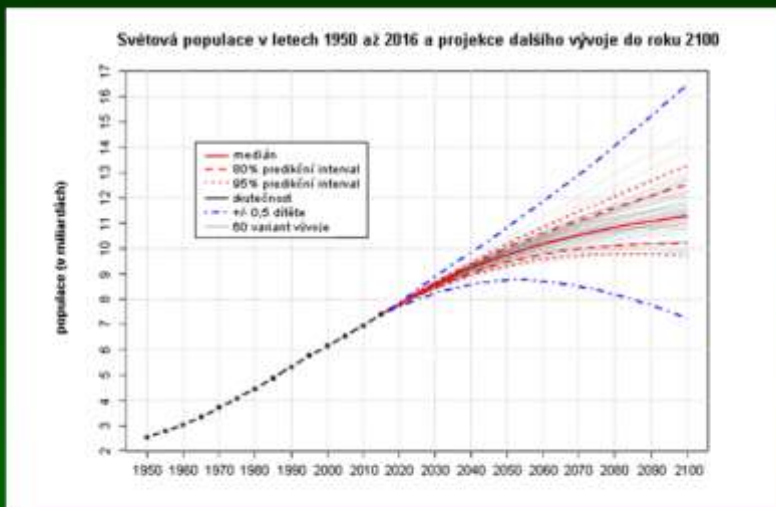


Nejdříve jsme vymysleli specializované nástroje, pak jsme zapojili zvířata, a jakmile světem otřásla průmyslová revoluce, zapojili jsme do práce stroje – traktory, kombajny, mlátičky, sekačky



S trochou nadsázky můžeme říct, že díky skleníkům jsme splnili sen našich předků a dnes poroučíme větru a dešti. Na první dobrou by se mohlo zdát, že co se týče modernizace zemědělské techniky, máme v podstatě hotovo a robotizace je pouze výstřelek moderní doby, protože když máme chytrá auta, chytré pračky, chytré záchodové prkýnka, tak by bylo fajn mít i chytrý traktor. Jenže skutečnost není tak růžová.

RŮST SVĚTOVÉ POPULACE



Ruku v ruce s pokroky v zemědělství a ve všech dalších oblastech, rostla i světová populace. A momentálně nic nenasvědčuje tomu, že se tento růst zastaví.

SOUČASNOST



SOUČASNOST



SOUČASNOST



SOUČASNOST



A navzdory všem technickým vymoženostem, které v zemědělství už teď máme, a že jich je, pořád ještě potřebujeme trošku přidat.









Jedna z cest, jak vyřešit potravinovou krizi je využití řas. Kromě výroby olejů a biopaliv se pořád častěji řasy objevují i jako součást pokrmů.



Jejich kultivace je relativně jednoduchá, levná, a už teď je do značné míry automatizována.

PRECIZNÍ (PŘESNÉ) ZEMĚDĚLSTVÍ



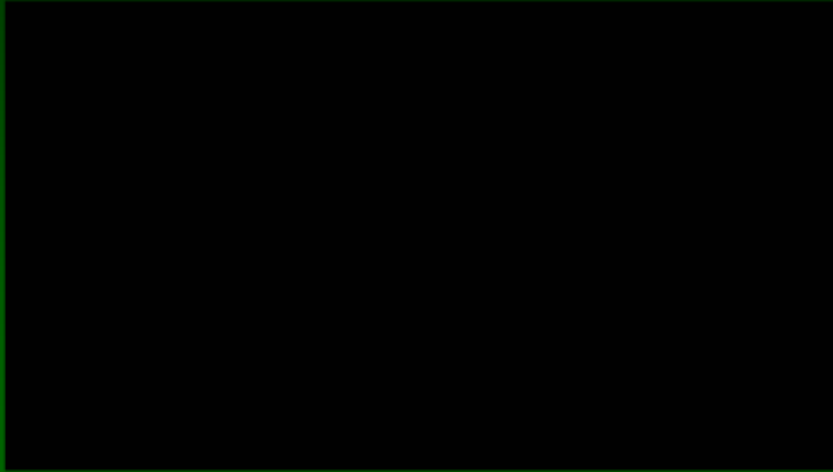
Ale vraťme se ke „klasickému“ zemědělství“. Nadějnou cestu představuje precizní, nebo taky přesné zemědělství.

PRECIZNÍ (PŘESNÉ) ZEMĚDĚLSTVÍ

- prostorově variabilní pěstování rostlin
 - přizpůsobení ošetřování rostlin podmínkám daného místa
- pole = heterogenní prostředí
 - obsah živin
 - obsah vody
 - struktura (složení, vlastnosti) půdy
- výsev, hnojení, závlaha, aplikace postřiků, zpracování půdy
- využití GPS (Evropa - systém Galileo)
- robotizace

Co to vlastně je? Je to prostorově variabilní pěstování rostlin, kdy bereme v úvahu, že pole je heterogenní prostředí z pohledu obsahu živin, obsahu vody, struktury půdy a tak dále. Jednu část pole bude potřeba trošku víc přihnojit, jinou bude třeba malinko víc zalívat, v podstatě ideální stav je, aby se každé rostlině na poli dostávalo přesně té péče, kterou potřebuje. Takovou precizní péči zvládne člověk poskytovat pár kytkám doma na okně, ale není v lidských silách takhle se starat o celé lány. Ale robot? To je něco jiného, ten by to mohl zvládnout.

Preciznost



Preciznost



Tady máme příklad aplikace pesticidů pouze na plevel. Tento přístup je mnohem levnější, než postřik celého pole, a taky je mnohem šetrnější k přírodě, což je samozřejmě hlavní důvod proč by se to tak mělo dělat, ale ruku, peníze jsou vždy až na prvním místě, takže je super, že ekologie je pro jednou levnější.

PRECIZNOST



Zde máme příklad robota sběrače. Ještě v roce 2019 jim moc lidí nevěřilo, protože zaplatit brigádníky bylo mnohem levnější, než kupovat robota. Ovšem ve světle událostí posledních se situace i v této oblasti začíná rychle měnit. Ale to malinko odbíháme od tématu.







Jak robot pozná?

- Co je plevel a co plodina
- Kdy je potřeba přihnojit
- Která jahoda je zralá
- Že je potřeba zalít

Takže, jak robot pozná, co je plevel a co plodina, kdy je potřeba přihnojit, která jahoda je zralá, nebo že je potřeba zalít kytku?

Zálivka

Watering and Weighing stations



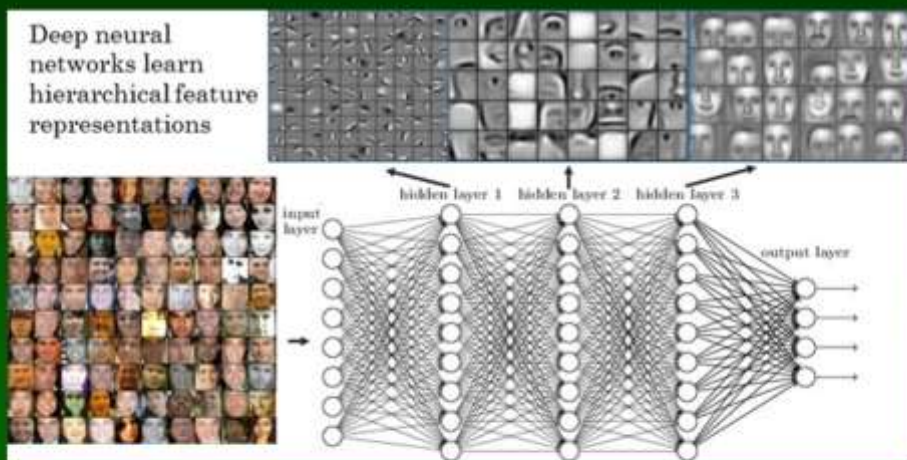
Tak s tím zalíváním, to je strašně jednoduché. Stačí kytku zvážit, a dolít vodu na požadovanou hmotnost. Ale sami určitě tušíte, že tohle je spíš přístup vhodný do laboratoře a venku na poli by to bylo řekněme nepraktické.





Asi všichni vidí, která jahoda je zralá. Čili spoustu věcí dokážeme určit z pouhé fotky na základě tvaru a barvy daného objektu. Ještě 20 let zpátky nám toto poznání nebylo k ničemu. Ale dnes?

VŠEMOČNÁ UMĚLÁ INTELIGENCE



Dnes žijeme ve světě face recognition, kdy umělá inteligence dokáže neskutečné věci v oblasti rozpoznávání objektů. Třeba já se občas po ránu nepoznávám, když rozespalý kouknu do zrcadla, ale můj telefon mě pozná bezpečně. A když pozná mě, tak poznat zralou jahodu, nebo rozlišit plevel od kukuřice pro něj taky nebude problém. Teda za předpokladu, že má kvalitní vstupní data.

„VŠEMOCNÁ“ UMĚLÁ INTELIGENCE



Můžete mít sebelepší umělou inteligenci, ale pokud ji neposkytneme vstupní data, tak toho moc nepředvede.

VSTUPNÍ DATA



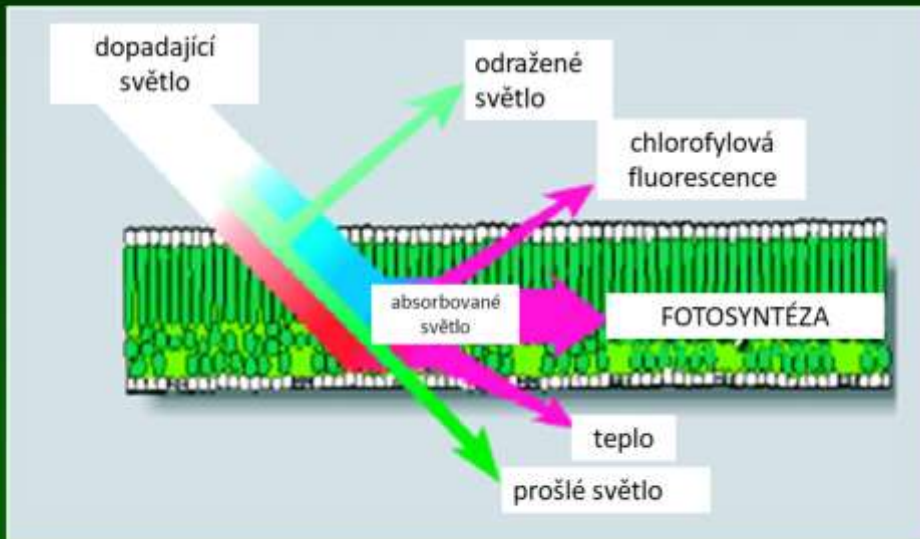
Pod pojmem vstupní data mám na mysli jedničky a nuly. Kolik červené, zelené a modré je v každém jednom pixelu tvořícím celek. To je alfa omega celé obrazové analýzy. Hodnoty RGB. Jenomže kde se berou?

BUDIŽ SVĚTLO



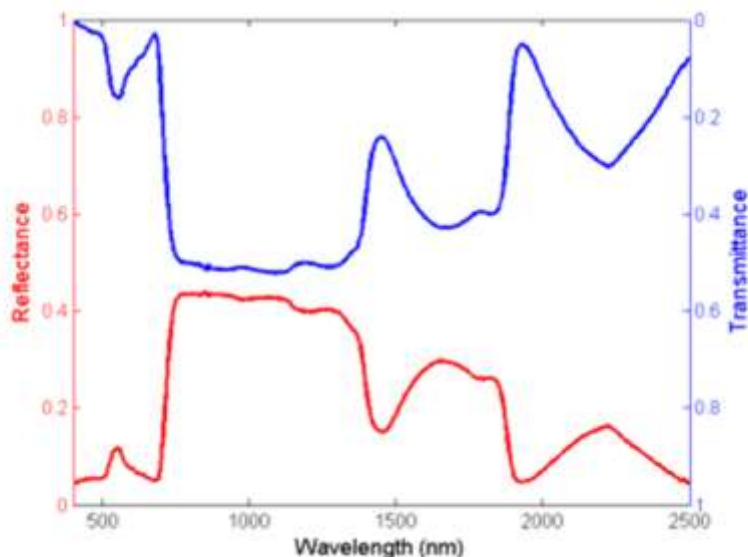
Odpověď je samozřejmě nasnadě, může za to světlo. Bez světla není žádné RGB. Není ani černobílé, je prostě tma.

CO SE DĚJE PO DOPADU SVĚTLA NA LIST?



A když před biofyzikem řeknete rostlina a světlo, hned se mu v hlavě rozjede fotosyntéza, proměna dopadajícího světla na energii chemických vazeb a .. A to se zas odbíháme od tématu. Robot zahradníkem, potřeba digitálního obrazu, takže, světlo dopadá na rostlinu, část projde, část rostlina použije na fotosyntézu – o tom ale někdy jindy, a zbytek se odrazí.

Spektrální vlastnosti listu

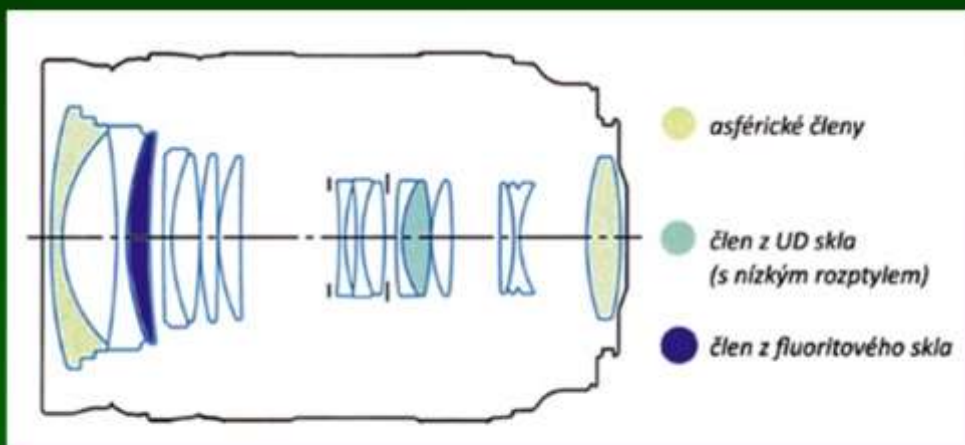


Jak odražené světlo vypadá v případě rostlin? Na obrázku vidíte graf transmittance a reflektance, čili světla, které list propustí a světla, které list odrazí. Takže, reflektance ve viditelné oblasti, to je tady ta část na začátku, modrá, zelená, červená, a asi nikoho nepřekvapí, že list odráží hlavně zelenou barvu, proto ho vidíme zeleně, červená jahoda pak bude odrážet hlavně červenou barvu. Teď když jsme si ujasnili, že nositel informace o stavu rostliny je odražené světlo



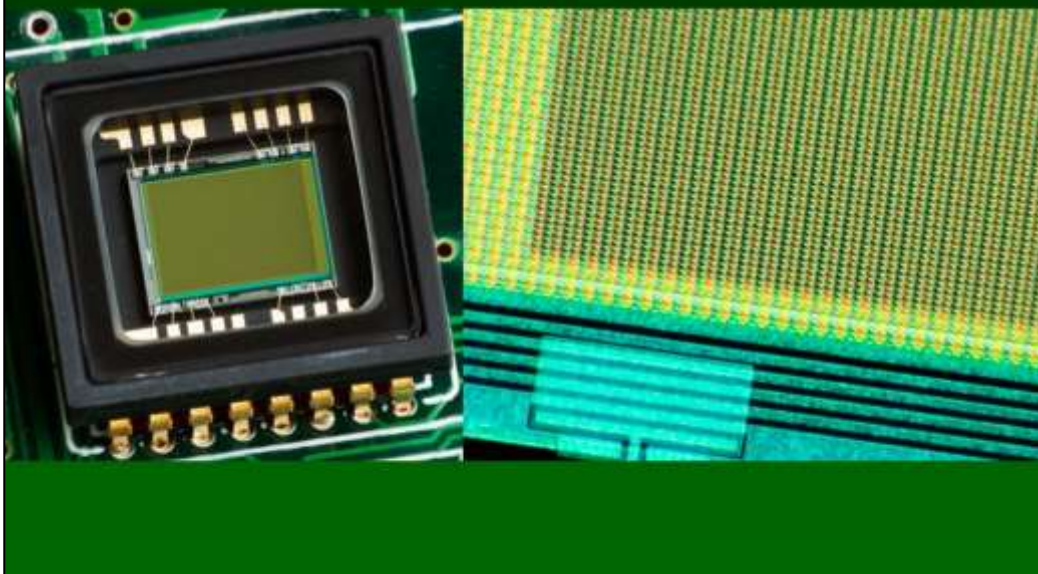
Jenže, jak se ze světla stane RGB? Samozřejmě pomocí kamery, proto si robota představíme jako kameru a ten zbytek, a dále se budeme věnovat pouze kameře.

OBJEKTIV



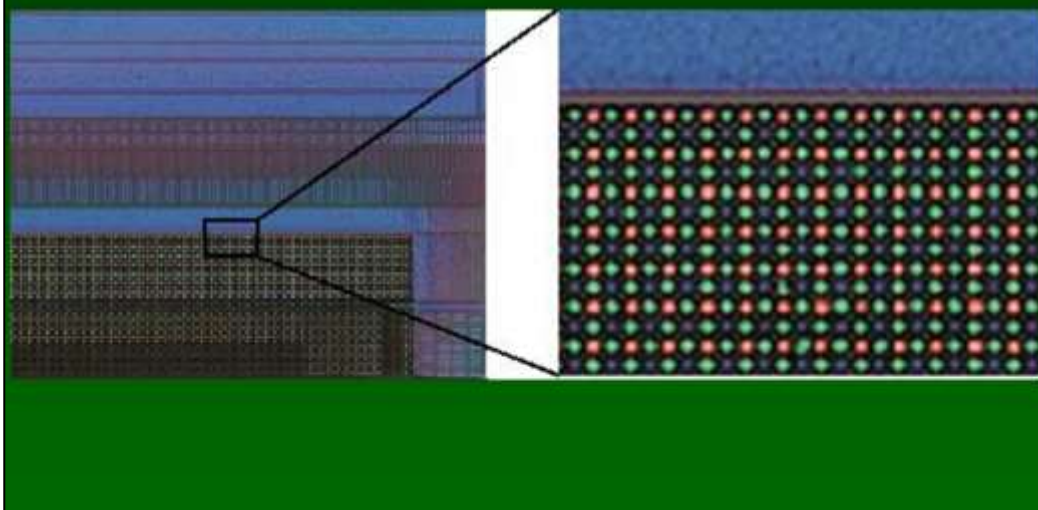
Kameru tvoří objektiv, to všichni víte, a čip – CCD nebo CMOS. Objektiv je pro kameru nesmírně důležitý, ale při našem popisu cesty mezi odraženým světlem a RGB nás mnohem více zajímá CCD čip.

Čip



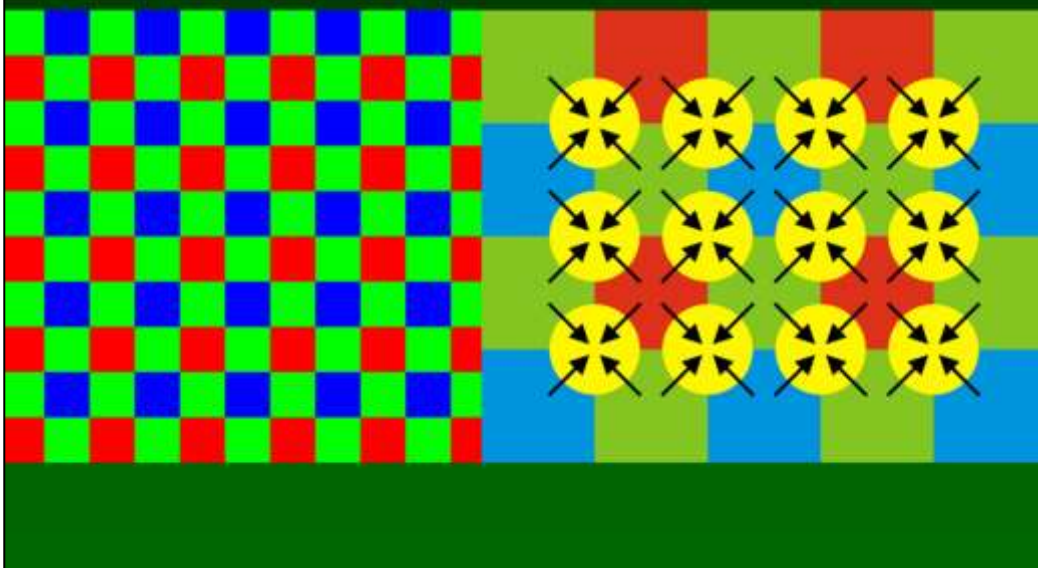
Toto je barevný CCD čip, na pravém obrázku můžete vidět detail

CCD čip



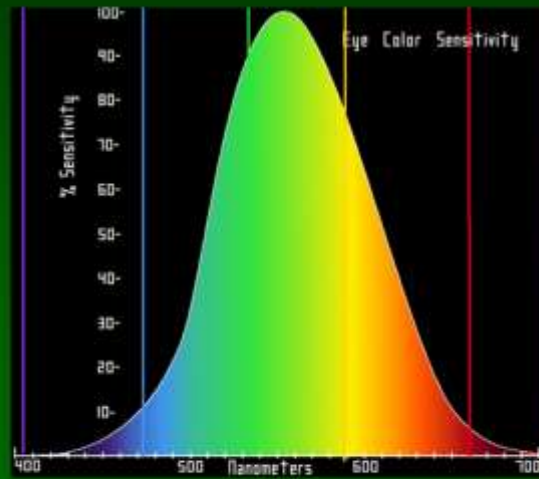
A zde ještě pak detail detailu. Vidíte zde červené, zelené a modré tečky, RGB, red/green/blue. Na ty pak dopadá světlo a převádí se na RGB hodnoty. Jenže, kdo se kouká pozorně vidí, že těch zelených teček je tam nějak moc.

BAYEROVO USPOŘÁDÁNÍ

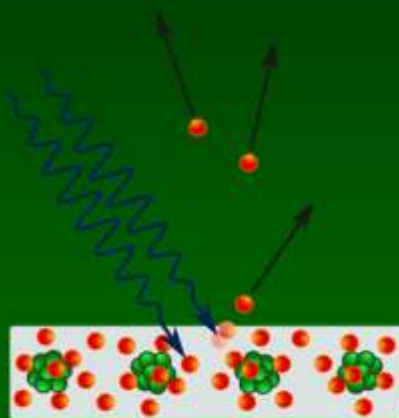


Tady to půjde vidět lépe. Zelených elementů je na CCD čipu víc, než modrých a červených, a výslední digitální obraz, ono RGB z gifu, který jsme viděli vzniká jako kombinace 4 sousedících pixelů.

CITLIVOST LIDSKÉHO OKA



FOTOELEKTRICKÝ JEV



Fotoelektrický jev či fotoefekt je fyzikální jev, při němž jsou elektrony uvolňovány z obalu atomu a následně mohou být emitovány (vyzařovány) z látky (nejčastěji z kovu) v důsledku absorpce elektromagnetického záření (např. rentgenové záření nebo viditelného světla) látkou.

Fotoelektrický jev – využití – fotobuňka, fotovoltaika, detektory světla

CCD Vs. CMOS

ALL ABOUT ELECTRONICS

Fotonásobič



Fotonásobič (PMT – *PhotoMultiplier Tube*) využívá k detekci záření vnějšího fotoelektrického jevu v kombinaci s efektem sekundární emise elektronů. Jedná se o vakuovou trubici obsahující fotokatodu, řadu zesilovacích elektrod (tzv. dynod) a anodu.

Dopad fotonů na fotokatodu způsobí vyražení elektronů (fotoelektrický jev). Vyražené elektrony jsou následně přitahovány na nejbližší dynodu a zároveň jsou urychlovány. Při dopadu na dynodu z ní vyrazí další elektrony, kterých je víc, než bylo elektronů dopadajících. Vyražené elektrony jsou dále přitahovány na další dynodu v pořadí a znova urychlovány. Tento proces se opakuje několikrát až nakonec elektrony dopadnou na anodu a my odečteme velikost proudu.

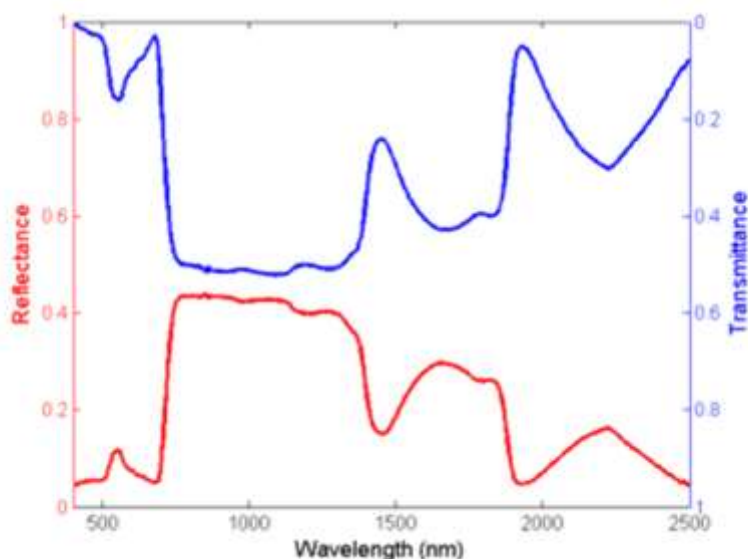
Fotonásobiče standardně poskytují až 10 000 násobné zesílení signálu.







Spektrální vlastnosti listu

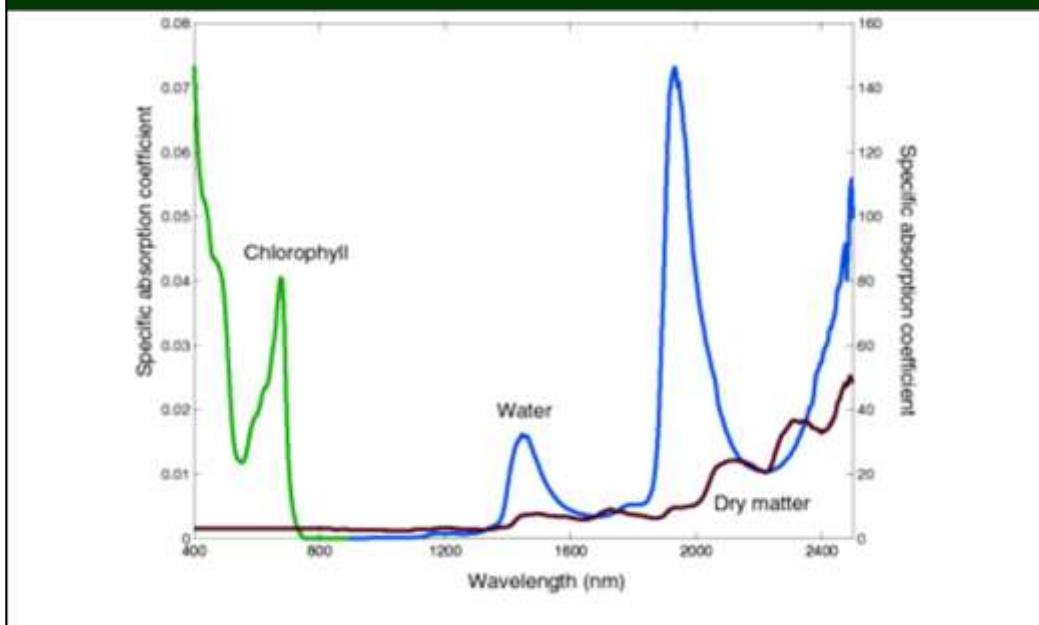


Vegetace má různou odrazivost v různých intervalech elektromagnetického spektra. Tato odrazivost je různá pro jednotlivé druhy rostlin, ale i pro jednotlivé rostlinné orgány. Spektrální křivku odrazivosti listu je možno v oblasti viditelného a blízkého infračerveného záření dělit do tří částí, které odpovídají hlavním faktorům určujícím velikost spektrální odrazivosti. Záření ve viditelné části spektra (400–700 nm) je výrazně pohlcováno především zeleným fotosyntetickým barvivem – chlorofylem. Protože chlorofyl pohlcuje záření nejvíce v modré a červené části viditelného záření a nejméně v zelené části kolem 550 nm, jeví se nám vegetace jako zelená. V oblasti kolem 700–800 nm odrazivost výrazně narůstá. Tato část spektra bývá označována jako červený okraj v důsledku své polohy za červeným viditelným zářením. Proměny odrazivosti v oblasti červeného okraje ukazují jemné změny ve fyziologickém stavu rostlin, např. v množství chlorofylu, jež signalizují, že je list poškozen, dříve než je poškození viditelné pouhým okem. V blízké infračervené části spektra (700–1000 nm) je odrazivost listu podmíněna především strukturálním uspořádáním buněk listu. V krátkovlnné infračervené oblasti je hlavní faktor podmiňující odrazivost listu obsah vody v listoví (1000–2500 nm). Vyšší obsah vody snižuje odrazivost rostlin.

K získání spektra odrazivosti se používají laboratorní či přenosné spektrometry s šířkou spektrálních pásem jen 1,5 nm. Z průběhu křivky odrazivosti listu se dá vyčíst mnoho údajů o fyziologickém a zdravotním stavu rostlin. Je to množství chlorofylu i dalších listových barviv, struktura a stav buněk listu, množství biomasy a obsah vody v listoví. Různá lokální maxima odrazivosti nebo absorpční vlastnosti odpovídají obsahu chemických látek v listech. Některé

z těchto látek, jako jsou látky fenolické (lignin a taniny), se v rostlinách často hromadí v důsledku působení stresových faktorů. Z křivky odrazivosti můžeme tedy zjistit i stupeň poškození rostlin.

Obsah vody v listu ze spekter odrazivosti



V oblasti 400 – 700 nm – dominance absorpce fotosyntetických pigmentů.

700 – 1100 nm (NIR = near infrared region, blízká IČ) ... převládá absorpce „strukturních komponent“ – celulósa, lignin a další strukturní sacharidy. Odrazivost v této oblasti je ovlivněna také vnitřní strukturou listu – podílem mezibuněčných prostor a rozhraními vzduch-voda, na kterých se světlo láme.

1100 – 2500 nm (SWIR = shortwave-infrared, krátkovlnná IČ) výrazná absorpce vody (především kolem 1450, 1940 a 2500 nm): na obr. Vpravo - Specific absorption coefficient of chlorophyll a+b (cm² µg⁻¹) on the left axis, of water (cm⁻¹) and dry matter (cm² g⁻¹) on the right axis (Jacquemoud et al., 2000).

Pokud klesá obsah vody, klesá absorpce a roste odrazivost v příslušných vlnových délkách.

Obsah vody v listu ze spekter odrazivosti – remote sensing

Spectral indices selected for assessment of leaf EWT and EWTcanopy.

Water indices	Full name	Formula
NDII	Normalized different infrared index	$(R_{850} - R_{1650}) / (R_{850} + R_{1650})$
NDWI	Normalized different water index	$(R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$
WI	Water index	R_{900} / R_{970}
SR1	Simple ratio water index	R_{858} / R_{1240}
SR2	Simple ratio water index	R_{1070} / R_{1340}
MSI	Moisture stress index	R_{1600} / R_{820}
MSI1	Moisture stress index	R_{870} / R_{1350}
MSI2	Moisture stress index	R_{1650} / R_{835}
SIWSI	Shortwave infrared water stress	$(R_{858} - R_{1640}) / (R_{858} + R_{1640})$

$EWT = (FW - DW) / A$ (g/cm²) (equivalent water thickness)

$EWT_{canopy} = LAI * EWT$ (kg/m²)

VEGETAČNÍ INDEXY

Vyjadřují vztah mezi odrazivostí v intervalu červené viditelné části spektra (600 - 700 nm = **RED**) a v blízké infračervené části spektra (přibližně 700 - 900 nm = **NIR**).

Jednoduchý poměrový vegetační index (RVI
- Ratio Vegetation Index):

$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

Normalizovaný diferenční vegetační index
(NDVI - Normalized Difference
Vegetation Index):

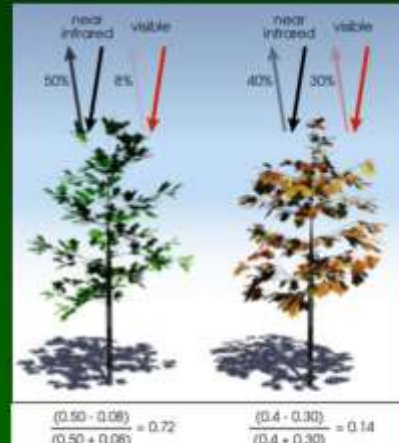
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

MĚŘENÍ OBSAHU CHLOROFYLU – ODRAZIVOST LISTŮ



$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

$$NDVI = \frac{R_{740nm} - R_{660nm}}{R_{740nm} + R_{660nm}}$$

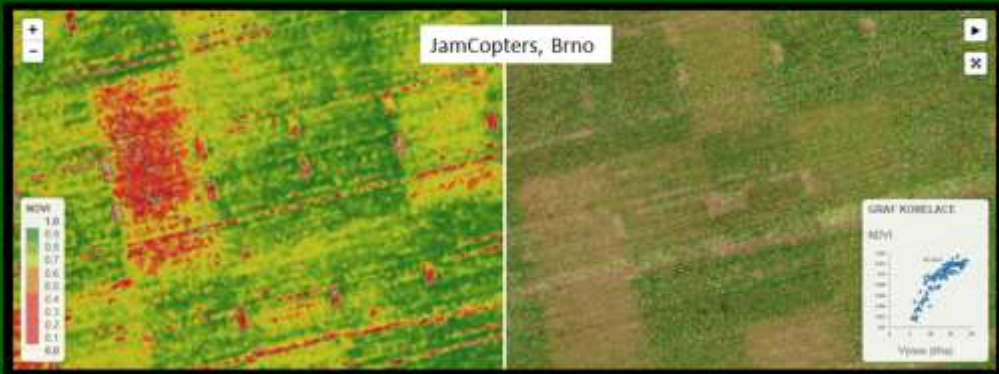


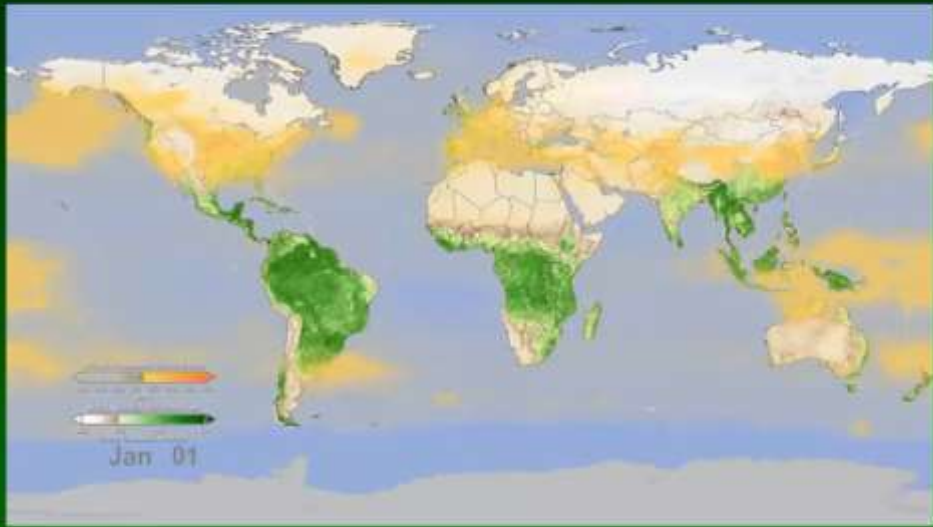
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is a simple graphical indicator that can be used to analyze [remote sensing](#) measurements, typically but not necessarily from a [space platform](#), and assess whether the target being observed contains live green vegetation or not.

Se stresem (resp. senescencí, která ho velmi často doprovází) obecně roste odrazivost ve viditelné oblasti (je méně chlorofylu, tudíž menší absorpce) a klesá odrazivost v NIR (v důsledku strukturních změn)= tedy klesá NDVI

PRECIZNÍ (PŘESNÉ) ZEMĚDĚLSTVÍ

- prostorově variabilní pěstování rostlin
 - přizpůsobení ošetřování rostlin podmínkám daného místa
- pole = heterogenní prostředí
 - obsah živin
 - obsah vody
 - struktura (složení, vlastnosti) půdy
- výsev, hnojení, závlaha, aplikace postřiků, zpracování půdy
- využití GPS (Evropa - systém Galileo)
- robotizace





Atomové hodiny a GPS

Děkuji za pozornost

